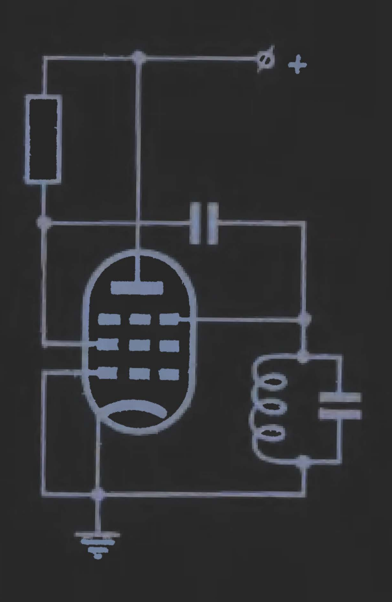




Я. С. Кублановский



ТРАНЗИТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 421

Я. С. КУБЛАНОВСКИЙ

ТРАНЗИТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

В брошюре рассматриваются принципы действия транзитронных генераторов и методика их упрощенного расчета, приводятся примеры практических схем таких генераторов и указываются области их применения.

Брошюра рассчитана на подготовленных радиолюбителей.

6Ф2.12 *Кублановский Яков Соломонович*

К88 **Транзитронный генератор.** М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.

40 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 421).

6Ф2.12

Редактор *А. Х. Якобсон* Техн. редактор *М. М. Широкова*

Сдано в набор 30/V 1961 г. Подписано к печати 15/VIII 1961 г.
Т09958 Бумага 84×108/32 2,05 п. л. Уч.-изд. л. 2,2
Тираж 25 000 Цена 9 коп. Заказ 291

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В радиолюбительской практике широко применяются различные типы генераторов. Среди них наиболее известны генераторы, имеющие явные цепи обратной связи. Таким генераторам уделялось много внимания в радиолюбительской литературе.

Известны также и автогенераторы без цепей обратной связи. Наиболее типичными представителями их являются транзитронные генераторы, дающие возможность получать устойчивые по амплитуде и частоте колебания в достаточно широком диапазоне частот (от звуковых до десятков мегагерц). Они отличаются простотой конструкции и наладки, что весьма существенно для радиолюбителей. Однако в популярной радиотехнической литературе нет опубликованных работ, посвященных описанию принципа действия и расчету таких генераторов, что в известной степени ограничивает их применение.

Настоящая брошюра предназначена заполнить указанный пробел. В ней описываются физические процессы, происходящие в схемах транзитронных генераторов, приводится методика их простейшего расчета, даются примеры практических схем транзитронных генераторов различного назначения.

Подробное рассмотрение транзитронных схем даст возможность радиолюбителям более широко и с большей эффективностью использовать их при конструировании радиоаппаратуры

Я. Кублановский

СОДЕРЖАНИЕ

ПОНЯТИЕ ОБ ОТРИЦАТЕЛЬНОМ СОПРОТИВЛЕНИИ

Обычное электрическое сопротивление — самый распространенный элемент различных радиотехнических устройств, с которым радиолюбитель постоянно сталкивается в своей практической работе. Измерив или рассчитав сопротивление какого-либо элемента или участка цепи радиотехнической схемы и получив его численные значения, например 500 *ом*, 10 *ком* и т. д., радиолюбитель обычно не задумывается над знаком полученных величин, считая их положительными.

Между тем в радиотехнике широко применяются электрические сопротивления, величины которых принято измерять отрицательными числами. Такие сопротивления называют отрицательными. Впервые понятие об отрицательном электрическом сопротивлении было введено одним из основателей отечественной радиотехники М. А. Бонч-Бруевичем.

Для того чтобы получить представление об отрицательном сопротивлении, рассмотрим вначале характерные особенности обычного активного сопротивления. Если к зажимам сопротивления R приложено напряжение u, то протекающий через сопротивление ток i определяется согласно закону Ома как

$$i = \frac{u}{R}. \quad (1)$$

Эта формула справедлива как для постоянного, так и для переменного тока. В последнем случае строчными буквами i и u принято обозначать мгновенные значения тока и напряжения.

Данная зависимость представлена графиком на рис. 1,*а*, где по оси абсцисс отложено напряжение, а по оси ординат ток. График, выражающий зависимость тока, проходящего через сопротивление, от действующего на его зажимах на-

пряжения, называется вольт-амперной характеристикой сопротивления. В данном случае он представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат. Характерной особенностью рассматриваемого сопротивления является то, что увеличение напряжения на его зажимах вызывает возрастание тока и, наоборот, уменьшение напряжения приводит к убыванию тока. Таким образом,

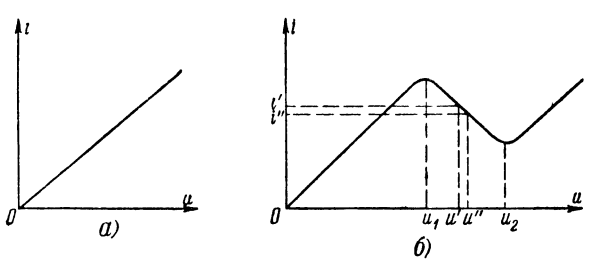


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики электрических сопротивлений.

а — положительного личейного; *б* — отрицательного.

прямая на рис. 1,*а* характеризует собой положительное линейное сопротивление.

Вторая отличительная черта обычного сопротивления заключается в следующем. При прохождении тока через сопротивление последнее вследствие рассеяния на нем определенной мощности, равной

$$p = ui, \quad (2)$$

нагревается. Это свидетельствует о том, что такой элемент потребляет энергию от источника напряжения, к которому он подключен. По формуле (2) может быть найдена величина мощности, выделяемой в активном сопротивлении при его включении в цепь постоянного или переменного тока, причем эта величина всегда положительна.

Для соединения с элементами внешней цепи сопротивление имеет два зажима (полюса). Поэтому электрическое сопротивление, так же как и любую другую электрическую цепь, имеющую два зажима, называют двухполюсником.

Обратимся теперь к рассмотрению свойств двухполюсника (сопротивления), вольт-амперная характеристика которого изображена на рис. 1,*б*. Последнюю можно разделить на три участка. Первый из них соответствует напряжениям

от 0 до u_1, второй — от u_1 до u_2 и третий — напряжениям, превышающим u_2. Если пренебречь незначительной нелинейностью в конце первого и начале третьего участков, то можно считать, что на этих участках данный двухполюсник ведет себя как обычное активное сопротивление, особенности которого были рассмотрены выше.

Однако при напряжениях, лежащих в интервале от u_1 до u_2, свойства двухполюсника меняются. Пусть u' представляет собой некоторое начальное напряжение, поданное на зажимы рассматриваемого двухполюсника. Воспользовавшись характеристикой на рис. 1,*б*, найдем протекающий через двухполюсник ток i'. Затем незначительно увеличим напряжение до u''. Полученное приращение напряжения обозначим через $\Delta u = u'' - u'$.

Из характеристики на рис. 1,*б* нетрудно видеть, что новое значение тока i'' меньше, чем первоначальное, т. е. в данном случае при увеличении напряжения на зажимах двухполюсника ток не возрастает, а уменьшается. Поскольку ток уменьшается, приращение тока, равное разности между вторым и первым отсчетами $\Delta i = i'' - i'$, является отрицательной величиной (так как $i'' < i'$).

Если на зажимы двухполюсника подать новое напряжение, меньшее исходного u', то окажется, что отрицательному приращению напряжения соответствует положительное значение приращения тока. Таким образом, и в этом случае приращения напряжения и тока имеют разные знаки.

Сопротивление двухполюсника для переменного тока на рассматриваемом участке характеристики может быть найдено как отношение приращения напряжения к соответствующему приращению тока. Так как Δu и Δi имеют разные знаки, то сопротивление двухполюсника оказывается отрицательным, т. е.

$$R_{(-)} = -\frac{\Delta u}{\Delta i}; \qquad (3)$$

здесь символом $R_{(-)}$ обозначена величина отрицательного сопротивления. В пределах прямолинейной части участка $u_1 - u_2$ характеристики величина этого сопротивления постоянна; в местах изгиба (около точек u_1 и u_2) сопротивление $R_{(-)}$ увеличивается (по абсолютной величине).

Полученная зависимость характеризует сопротивление двухполюсника только для переменной составляющей тока. Действительно, пусть u' является постоянным напряжением, поданным на зажимы двухполюсника, а i' — протекающим через него при этом током (рис. 1,*б*). Сопротивление

двухполюсника для постоянного тока равно $R=u'/i'$, т. е. будет положительной величиной

Подадим на зажимы двухполюсника также и переменное напряжение такой амплитуды U_m, чтобы алгебраическая сумма напряжений u' и U_m находилась в пределах участка $u_1—u_2$ характеристики В цепи двухполюсника появится и переменный ток, причем мгновенные значения этого тока и возбуждающего переменного напряжения будут разных знаков. Иными словами, фаза переменного тока будет отличаться на 180° от фазы возбуждающего напряжения. Сопротивление двухполюсника для переменного тока определяется по формуле (3) и является отрицательным. Значит, источник переменного напряжения оказывается подключенным к отрицательному сопротивлению, в то же время источник постоянного напряжения нагружен на положительное сопротивление.

Таким образом, рассматриваемый двухполюсник проявляет свойства отрицательного сопротивления только по отношению к переменным токам и напряжениям. Это важное обстоятельство следует всегда иметь в виду.

Теперь можно дать определение отрицательного сопротивления. *Отрицательным сопротивлением называется сопротивление такого двухполюсника, у которого увеличение приложенного к его зажимам напряжения вызывает уменьшение протекающего через него тока и, наоборот, уменьшение напряжения вызывает увеличение тока.*

Участок вольт-амперной характеристики на рис. 1,*б* от u_1 до u_2 — падающий. Наличие такого участка является отличительной особенностью вольт-амперной характеристики любого отрицательного сопротивления.

Если вольт-амперная характеристика отрицательного сопротивления прямолинейна, то с таким сопротивлением можно оперировать как с некоторой физической величиной, однородной с активным сопротивлением, но имеющей обратный знак. При этом условии для определения мощности, потребляемой отрицательным сопротивлением, можно воспользоваться формулой (2), подставив вместо u и i мгновенные значения приложенного напряжения и протекающего через отрицательное сопротивление тока. Так как в данном случае ток и напряжение различаются по фазе на 180°, их мгновенные значения имеют противоположные знаки и потребляемая мощность является величиной отрицательной

Это означает, что устройство с отрицательным сопротивлением не потребляет энергию от источника, а, наоборот, отдает ее во внешнюю цепь, т. е. само является источником энергии. Следовательно, если двухполюсник проявляет себя как отрицательное сопротивление, то он обязательно содержит какой-либо источник энергии.

Выясним, при каких условиях отрицательное сопротивление может явиться причиной возникновения незатухающих колебаний в резонансном контуре. На рис. 2,*а* показан параллельный колебательный контур, в котором сопротивление *r*, включенное последовательно с индуктивностью *L* и емкостью *C*, учитывает все виды потерь в контуре. Эти потери определяются активными сопротивлениями катушки и соединительных проводов, диэлектрическими потерями конденсатора и величиной излучения электромагнитной энергии. Данный контур не содержит каких-либо источников энергии, поэтому для того чтобы в нем возникли колебания, ему необходимо сообщить энергию извне. Этого можно, например, достигнуть, сообщив некоторый заряд конденсатору и тем самым создав запас энергии в его электростатическом поле. Можно также накопить энергию в магнитном поле катушки, пропустив через нее ток.

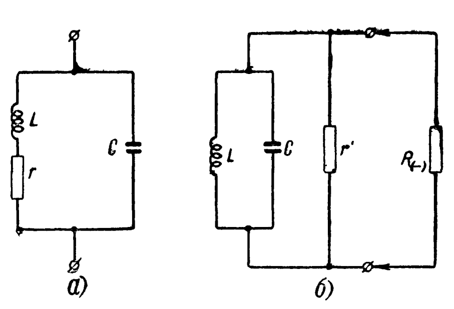


Рис. 2. Параллельный колебательный контур.

а — сопротивление *r*, эквивалентное потерям, включено последовательно с *L* и *C*; *б* — сопротивление *r'*, эквивалентное потерям, включено параллельно *L* и *C*.

Допустим, что одним из указанных способов мы создали в контуре начальный запас энергии и в нем возникли колебания, вызвавшие протекание в контуре тока. При прохождении тока через сопротивление *r* в последнем будет расходоваться часть энергии, сообщенной контуру, и ее запас будет уменьшаться. Поскольку амплитуда колебаний зависит от запаса энергии в контуре, то по мере его уменьшения будет также уменьшаться и амплитуда колебаний, т. е. возникшие колебания будут затухать и через некоторое время прекратятся.

Чтобы колебания в контуре не затухали, в него необходимо в течение каждого периода колебаний вводить энергию, компенсирующую потери на сопротивлении r. Если в среднем за период в контур будет поступать столько же энергии, сколько в нем рассеивается, то энергия, а следовательно, и амплитуда колебаний в контуре будут оставаться неизменными.

Очевидно, такой же результат имел бы место и в том случае, если бы каким-либо образом удалось произвести компенсацию эквивалентного сопротивления потерь другим сопротивлением, равным ему по величине, но противоположным по знаку.

Для большей наглядности представим контур LCr (рис. 2,*а*) в виде контура, изображенного на рис 2,*б*, в котором последовательное сопротивление r пересчитано в параллельную ветвь, а LC представляет собой идеальный контур без потерь.

Величина сопротивления r' определяется по формуле

$$r' = \frac{L}{Cr}. \tag{4}$$

где L, C, r — элементы контура, показанного на рис. 2, *а*.

Как известно, параллельный колебательный контур (рис. 2, *а*) в момент резонанса представляет для внешней цепи чисто активное сопротивление

$$Z_0 = \frac{L}{Cr}, \tag{5}$$

где L — индуктивность контура, *гн*;
C — емкость контура, *ф*;
r — сопротивление контура, *ом*.

Сравнивая последнее равенство с формулой (4), видим, что их правые части равны, следовательно, величина пересчитанного в параллельную ветвь сопротивления r' равна резонансному сопротивлению контура, т. е. $r' = Z_0$.

Если теперь параллельно контуру (рис. 2,*б*) подключить отрицательное сопротивление, абсолютная величина которого равна сопротивлению r', то суммарная проводимость ветвей с r' и $R_{(-)}$ обратится в нуль $(1/r' + 1/R_{(-)} = 0)$. В результате этого контур не будет шунтирован активным сопротивлением, т. е. в нем полностью компенсируются потери. Такой LC-контур, однажды возбужденный, будет неограниченно долгое время поддерживать незатухающие си-

нусоидальные колебания с частотой, равной его собственной резонансной частоте.

Допустим теперь, что абсолютное значение проводимости ветви с $R_{(-)}$ оказалось меньше проводимости ветви с активным сопротивлением. Это соответствует условию $r'<|R_{(-)}|$ и указывает на неполную компенсацию потерь. В этом случае возбужденные колебания через некоторое время прекратятся.

Возможен также и обратный случай, когда проводимость ветви с отрицательным сопротивлением по абсолютной величине превышает проводимость компенсируемой ветви, т. е. $r'>|R_{(-)}|$. Это означает, что в контуре после его возбуждения амплитуда колебаний будет увеличиваться.

Возвращаясь к контуру (рис 2,*а*) с резонансным сопротивлением Z_0 и вспоминая, что $Z_0=r'$, можно утверждать, что если колебательный контур подсоединить к отрицательному сопротивлению, то в получившейся системе могут иметь место процессы, соответствующие следующим соотношениям:

1) соотношение

$$Z_0<|R_{(-)}| \tag{6}$$

указывает на неполную компенсацию потерь, имеющих место в контуре, и если в последнем в силу каких-либо причин возникли колебания, то они через некоторое время прекратятся;

2) равенство

$$Z_0=|R_{(-)}| \tag{7}$$

является условием полной компенсации потерь контура и соответствует установившемуся режиму колебаний с постоянной амплитудой;

3) соотношение

$$Z_0>|R_{(-)}| \tag{8}$$

свидетельствует о неустойчивости получившейся системы. Если в этом случае в контуре в силу какого-либо внешнего толчка возникнут колебания, то их амплитуда будет нарастать.

Таким образом, соотношение (8) является *необходимым и достаточным условием возникновения незатухающих колебаний в резонансном контуре с параллельно подключенным отрицательным сопротивлением.*

Многие электрические устройства и приборы могут вести себя, как отрицательные сопротивления. Ими могут быть, например, электрическая дуга и неоновая лампа (в определенной области подведенных к ним напряжений), магнетрон, многоэлектродные электронные лампы, поставленные в специальный режим, и некоторые другие устройства. В транзитронных генераторах используется отрицательное сопротивление, создаваемое поставленной в особый режим электронной лампой.

ПОЛУЧЕНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАМПЫ

Один из возможных способов получения отрицательного сопротивления при помощи электронной лампы, имеющей не менее двух сеток (тетрод, пентод, гептод), заключается в том, что на электроды лампы подаются такие напряжения, при которых на ее вольт-амперных статических характеристиках появляются падающие участки.

Например, в тетроде падающий участок анодной характеристики можно получить, если поставить тетрод в такой режим, при котором в нем имеет место динатронный эффект. Для этого на экранирующую сетку тетрода необходимо подать постоянное напряжение, превышающее напряжение на его аноде. По такому принципу строятся так называемые динатронные генераторы, не получившие распространения из-за присущих им существенных недостатков, связанных с большой нестабильностью параметров, обусловленной неустойчивостью явлений вторичной эмиссии.

Второй способ получения падающих характеристик использует процесс перераспределения катодного тока лампы между ее остальными электродами. Как известно, можно создать такой режим работы многоэлектродной лампы, при котором ток того или иного электрода будет определяться напряжением на другом электроде. Так, например, ток экранирующей сетки пентода при постоянном анодном напряжении зависит от напряжений как на экранирующей, так и на защитной сетке, так как потенциал последней влияет на распределение катодного тока между анодом и экранирующей сеткой.

Обратимся к схеме, приведенной на рис. 3. Ее особенностью является наличие между защитной и экранирующей

сетками пентода дополнительной батареи с э. д. с. E_{2-3}. Напряжение на защитной сетке лампы

$$U_{c3} = -E_{2\text{-}3} + U_{c2} \qquad (9)$$

по отношению к катоду здесь может быть как отрицательным (если э. д. с. батареи $E_{2\text{-}3}$ по абсолютной величине превышает напряжение U_{c2} на экранирующей сетке), так и положительным (если $U_{c2} > |E_{2-3}|$). Управляющая сетка соединена с катодом, а напряжение U_{c2} на экранирующей сетке можно плавно изменять потенциометром R.

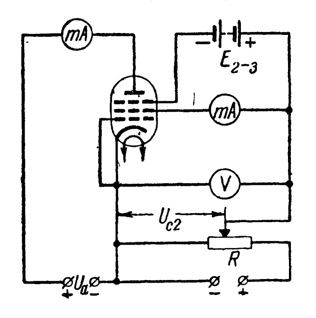


Рис. 3. Схема для снятия падающих характеристик пентода.

Зависимости токов $I_{c2} = \varphi(U_{c2})$ и $I_a = \varphi(U_{c2})$ лампы 6Ж2П, полученные в приведенной на рис. 3 схеме, показаны на рис. 4. Параметром семейства падающих вольт-амперных характеристик является э. д. с. батареи $E_{2\text{-}3}$. Остановимся на особенностях приведенных характеристик, выбрав для наглядности какую-либо одну, например соответствующую напряжению $E_{2\text{-}3} = 70$ *в*.

Для каждой характеристики можно четко выделить три характерные области. Так, для выбранной нами кривой первая область определяется напряжениями на экранирующей сетке, лежащими в интервале 0—64 *в*, вторая — в интервале 64—72,5 *в* и третья — напряжениями, большими чем 72,5 *в*.

При напряжениях U_{c2}, соответствующих первой области, потенциал защитной сетки по отношению к катоду отрицателен, причем величина его такова, что анодный ток практически отсутствует. Эмиттируемый катодом электронный поток благодаря ускоряющему полю экранирующей сетки устремляется по направлению к ней и аноду. Часть электронов перехватывается экранирующей сеткой, а остальные электроны, обладающие бóльшими скоростями, пролетают сквозь нее и попадают в тормозящее поле защитной сетки. Так как оно достаточно велико, то электроны возвращаются обратно к экранирующей сетке.

При увеличении напряжения на экранирующей сетке одновременно уменьшается отрицательное напряжение U_{c3} на защитной сетке (рис. 3). В результате этого ускоряющее поле экранирующей сетки еще более возрастает,

а тормозящее поле, создаваемое защитной сеткой, уменьшается. При экранных напряжениях 63—64 *в* тормозящее поле защитной сетки уменьшится настолько, что возникнет ток $I_а$ в анодной цепи лампы. Дальнейшее увеличение напряжения $U_{с2}$ приводит к резкому возрастанию тока $I_а$, которое будет сопровождаться уменьшением тока экранирующей сетки, несмотря на то, что напряжение на ней будет увеличиваться. Вследствие этого характеристика $I_{с2}=\varphi(U_{с2})$ на некотором участке будет падающей. Появление такого участка объясняется перераспределением тока катода $I_к$ между экранирующей сеткой и анодом так, что в пределах этого участка сумма $I_а+I_{с2}$ остается постоянной и равной $I_к$, а увеличение $I_а$ приводит к соответствующему уменьшению $I_{с2}$.

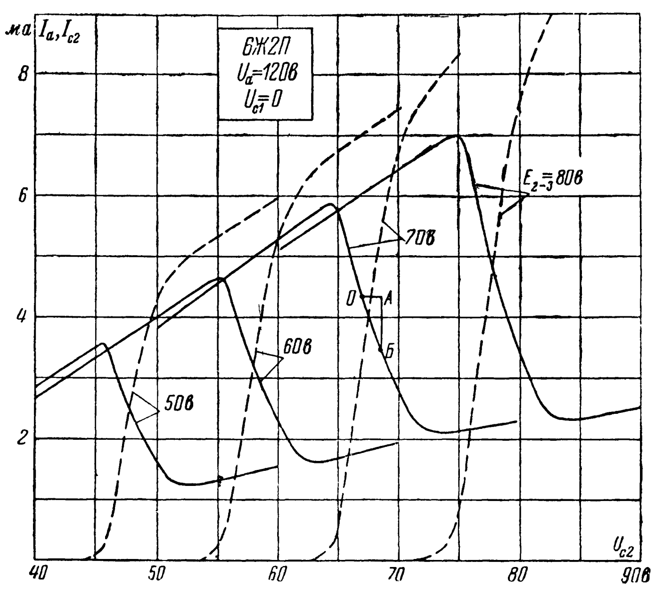


Рис. 4. Статические падающие вольт-амперные характеристики лампы 6Ж2П.
Сплошные линии — ток экранирующей сетки $I_{с2}$, штриховые линии — анодный ток $I_а$.

Продолжая увеличивать экранное напряжение, мы перейдем в третью область характеристики, особенностью которой является то, что поскольку $U_{с3}$ становится положительным, тормозящее поле защитной сетки исчезает и падающий участок в характеристике экранного тока про-

падает. При дальнейшем увеличении экранного напряжения растет как экранный, так и анодный ток, но уже значительно медленнее.

Отметим некоторые особенности характеристик на рис. 4. При увеличении E_{2-3} (абсолютного значения) возрастает протяженность падающего участка и несколько увеличивается его крутизна. Это свидетельствует о том, что если требуемый режим обеспечивается при больших

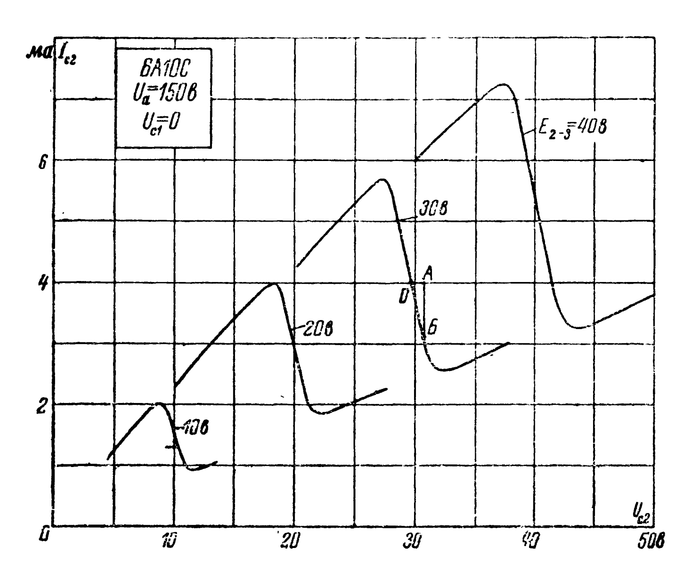


Рис. 5. Статические падающие вольт-амперные характеристики лампы 6А10С.

экранных напряжениях, то создаваемое лампой отрицательное сопротивление получается меньшим по своей абсолютной величине, а его характеристика получается более протяженной. Наиболее линейная часть падающего участка для этого типа лампы у всех характеристик располагается в интервале напряжений U_{c3} примерно от —5 до —1 *в*. Нижние изгибы кривых I_{c2} более скруглены, чем верхние. Это скругление объясняется возникновением тока в цепи защитной сетки (поскольку напряжение U_{c3} становится положительным).

Итак, *при определенных значениях напряжений на электродах пентода и при условии, что всякое изменение напряжения экранирующей сетки передается на защитную,*

промежуток катод—экранирующая сетка проявляет свойства отрицательного сопротивления.

Падающие характеристики могут быть получены не только у пентода, но и у других многосеточных ламп. В качестве иллюстрации на рис. 5 показаны статические характеристики экранного тока гептода 6А10С $I_{c2}=\varphi(U_{c2})$, полученные в схеме, приведенной на рис. 6. Появление падающего участка здесь объясняется влиянием на токораспределение между анодом и экранирующей сеткой потенциала третьей (сигнальной) сетки. Происходящие при этом процессы аналогичны процессам, имеющим место в рассмотренной выше схеме для пентода. Так же как и в случае пентода, каждая из кривых имеет резко выраженный линейный падающий участок, получающийся при вполне определенных напряжениях на третьей сетке ($-2 \div +2$ *в*).

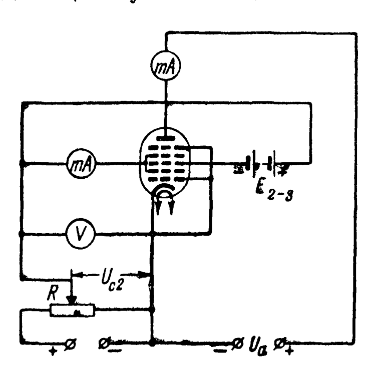


Рис. 6 Схема для снятия падающих характеристик гептода.

Особенностью последних характеристик является то, что середина всех падающих участков, как это видно из рис. 5 и уравнения (9), соответствует напряжениям на третьей сетке, примерно равным нулю. Следовательно, для обеспечения наилучшего режима лампы, при котором создается отрицательное сопротивление, не требуется подавать на третью сетку отрицательное смещение.

Пользуясь статическими падающими вольт-амперными характеристиками лампы, можно определить величину отрицательного сопротивления в любой точке падающего участка. Однако если падающие характеристики считать линейными (за исключением участков, близких к изгибам), то достаточно определить отрицательное сопротивление в какой-либо одной точке, например в середине падающего участка характеристики. Полученная таким образом величина будет без большой погрешности характеризовать некоторое среднее значение отрицательного сопротивления, создаваемого лампой.

В качестве примера определим графически по характеристикам на рис. 4 отрицательное сопротивление, которое создается лампой 6Ж2П при $E_{2\text{-}3}=70$ *в* в точке *О* Для этого дадим небольшое приращение

экранному напряжению $\Delta u_{c2} = 1{,}5$ *в* (отрезок *АО*) и найдем соответствующее изменение экранного тока $\Delta i_{c2} = -0{,}9$ *ма* (отрезок *АБ*) Тогда по формуле (3)

$$R_{(-)} = -\frac{\Delta u_{c2}}{\Delta i_{c2}} = -\frac{1{,}5}{0{,}9} \approx -1{,}65\ \textit{ком}.$$

Совершенно аналогично по характеристикам на рис 5 можно найти отрицательное сопротивление, создаваемое гептодом в промежутке экранирующая сетка — катод Так, для кривой, соответствующей $E_{2\,3} = 30$ *в*, находим, что вблизи точки *О* отрицательное сопротивление $R_{(-)} \approx \approx -1{,}1$ *ком*. Заметим, что у гептода $R_{(-)}$ по абсолютной величине получилось меньше, чем у пентода.

В табл. 1 приведены абсолютные значения отрицательного сопротивления для некоторых типов ламп, полученные при указанных в ней режимах. Естественно, что при других режимах сопротивление $R_{(-)}$ будет иметь несколько иную величину.

Таблица 1

Лампа	$\lvert R_{(-)}\rvert$, *ком*	U_{c2}, *в*	U_a, *в*	U_{c3}, *в*	U_{c1}, *в*
6Ж2Б	1,2—1,5	90	90	—2,5	—1
6Ж10Б	1—1,1	120	120	—3	—1
6Ж2П	1,4—1,7	70	90—120	—(2—3)	0
6Ж10П	2,4—2,6	100	200	—4	—1
6Ж4	2—4	140—150	60—70	—(3—5)	0 ÷ —3
ГУ-50	1,3—1,5	100	50	0	0
6А10С	1—1,2	30	150	0	0

ТРАНЗИТРОННЫЕ СХЕМЫ

Построение схемы генератора и выбор ее элементов. Итак, при некоторых вполне определенных значениях напряжений на электродах лампы она может проявлять себя как отрицательное сопротивление. Например, таким свойством обладают промежутки катод—экранирующая сетка у пентодов и гептодов. Поэтому, подсоединив к этим электродам колебательный контур, резонансное сопротивление которого удовлетворяет соотношению (8), можно ожидать, что в такой системе возникнут незатухающие колебания, т. е. подобная система способна самовозбуждаться. По-

строенные на этом принципе генераторы, не имеющие цепи явной обратной связи и работающие в режиме, при котором лампа вносит в колебательный контур отрицательное сопротивление, получили название транзитронных

На рис 7 приведена транзитронная схема с лампой 6Ж2П и источниками питания Напряжения на электродах лампы выбраны так, что обеспечивается режим, соответствующий точке *О* на характеристике (рис 4) Промежуток катод — экранирующая сетка, обозначенный на рис 7 буквами *МН*, эквивалентен отрицательному сопротивлению 1,65 *ком*, вычисленному выше Чтобы получить схему генератора, к точкам *МН* необходимо подсоединить колебательный контур, резонансное сопротивление которого должно быть не менее 1,65 *ком*.

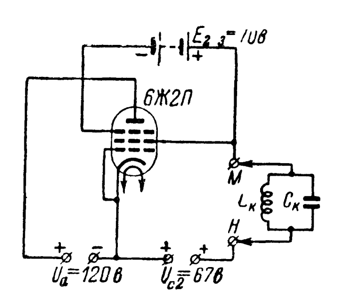


Рис 7 Транзитрончая схема

Наличие отдельной батареи затрудняет практическую реализацию генератора по схеме на рис. 7. Поэтому в практических схемах применяется иной способ связи экранирующей и защитной сеток и подачи на последнюю необходимого постоянного напряжения Как следует из принципа работы транзитронной схемы, любое изменение потенциала экранирующей сетки должно передаваться на защитную, т е по переменному току обе сетки должны быть соединены накоротко С другой стороны, постоянные напряжения сеток относительно катода различны, и поэтому по постоянному току они не должны иметь соединения (так, для генератора, показанного на рис 7, $U_{c2}=67$ *в*, а $U_{c3}=-3$ *в*) Обе эти задачи можно решить, если заменить батарею $E_{2\ 3}$ конденсатором достаточно большой емкости и подать на защитную сетку необходимое смещение

На рис 8,*а* показана практическая схема транзитронного генератора на лампе 6Ж4, а на рис 8,*б* — на лампе 6Ж2П Конденсатор C_1 включен здесь вместо батареи между защитной и экранирующей сетками, а падение напряжения на сопротивления R_2 за счет катодного тока лампы обеспечивает необходимое смещение для защитной сетки

Особенностью генератора, схема которого приведена на рис 8,*б*, является включение колебательного контура,

который в данном случае не имеет гальванической связи с экранирующей сеткой и поэтому может быть заземлен (это очень удобно для заземления ротора конденсатора переменной емкости). В обеих схемах на рис. 8 колебательный контур и промежуток экранирующая сетка—катод лампы, т. е. отрицательное сопротивление, взаимодействуют одинаково, поскольку на частоте генерации обе сет-

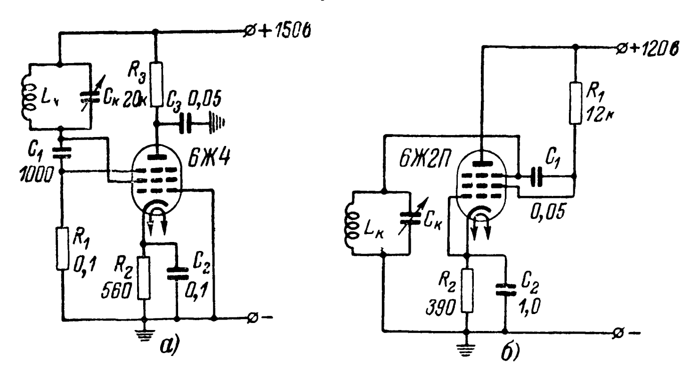


Рис 8 Схемы транзитронных генераторов на пентодах

ки оказываются соединенными накоротко И в той и в другой схеме может работать любой из указанных пентодов.

Генератор, собранный по схеме на рис 8,*б*, может быть использован на частотах порядка 10—20 *кгц* и более, а генератор по схеме на рис. 8,*а* — на частотах в несколько сотен килогерц и выше В последней схеме для обеспечения лучшего режима работы лампы на ее первую сетку при помощи катодного сопротивления подается небольшое отрицательное напряжение смещения.

Рассмотрим вопросы выбора режима и элементов схемы транзитронного генератора.

Режим генератора достаточно точно может быть рассчитан по падающим характеристикам, иногда называемым транзитронными. Для пентода и гептода это будут зависимости $I_{c2}=\varphi(U_{c2})$. Исходная рабочая точка выбирается в середине падающего участка характеристики, после чего определяются соответствующие ей напряжения на электродах лампы и абсолютная величина отрицательного сопротивления. Желательно использовать характеристику, имеющую наиболее линейный падающий участок Кроме того, следует иметь в виду, что установившаяся амплитуда

генерируемых колебаний определяется протяженностью этого участка; она тем больше, чем участок длиннее.

Так, например, если в качестве рабочей взять точку O (см. рис. 4), то для обеспечения требуемого режима генератора напряжения на электродах лампы при токах $I_а=3{,}4$ *ма* и $I_{с2}=4{,}3$ *ма* должны быть: $U_а=120$ *в*, $U_{с2}=67$ *в*, $U_{с3}=-3$ *в*. Значение отрицательного сопротивления определяется графически, как это было показано выше.

Экранное напряжение, соответствующее выбранной рабочей точке, должно удовлетворять условию $U_{с2}=(0{,}3\div0{,}8)\,U_{с2ном}$, где $U_{с2ном}$ — паспортное значение экранного напряжения для данного типа лампы.

Основной частью любого генератора, в том числе и транзитронного, является колебательный контур. Однако в последнем случае требования к нему существенно снижаются по сравнению с теми, которые предъявляются к контурам для других схем генераторов. Во-первых, для колебательного контура требуется катушка очень простой конструкции без отводов. Во-вторых, в транзитронной схеме может использоваться контур с низким резонансным сопротивлением. Действительно, вспоминая, что для возникновения генерации согласно выражению (8) должно выполняться условие $Z_0>|R_{(-)}|$, приходим к выводу, что генератор будет работать с контуром, резонансное сопротивление которого составляет несколько килоом.

Однако, учитывая разброс параметров различных экземпляров однотипных ламп и отклонения напряжений на их электродах от расчетных величин, необходимо, чтобы условие самовозбуждения (8) выполнялось с достаточным запасом, т. е. чтобы

$$Z_0 \geqslant (3\div4)\,|R_{(-)}|. \qquad (10)$$

Тот факт, что транзитронные генераторы могут работать с колебательными контурами, имеющими низкое резонансное сопротивление, которое, как известно, равно $Z_0=\frac{L}{Cr}$, имеет важное практическое значение, так как позволяет повысить стабильность генерируемой частоты за счет применения контуров с относительно большими емкостями. При этом уменьшается дестабилизирующее действие на частоту колебаний паразитных емкостей схемы, складывающихся из междуэлектродных емкостей ламп,

емкостей монтажа и нагрузки и всегда в большей или меньшей степени входящих в общую емкость колебательного контура. Кроме того, если перестройка частоты производится посредством конденсатора, как это часто имеет место, то возможно поддержание устойчивой генерации в широком диапазоне изменения частоты.

Существенное влияние на работу генератора оказывает емкость конденсатора (C_1 на рис. 8), включаемого между экранирующей и защитной сетками в пентоде или второй и третьей сетками в гептоде. Как уже указывалось, на частоте генерации обе сетки должны быть содинены накоротко. Если емкость конденсатора, соединяющего обе сетки, недостаточна, то может затрудниться самовозбуждение или снизиться стабильность генерируемой частоты. Это имеет место, когда емкостное сопротивление конденсатора C_1 становится сравнимым с сопротивлением R_1 (см. рис. 8). В этом случае цепочки R_1—C_1 действует как делитель напряжения, поэтому изменения напряжения на защитной сетке становятся меньшими, чем на экранирующей, и нормальная работа генератора нарушается.

Емкость конденсатора C_1 рекомендуется выбирать по следующей формуле:

$$C_1 \geqslant \frac{3 \div 5}{f R_1}, \tag{11}$$

где C_1 — емкость, *мкф*;

R_1 — сопротивление, *ком*;

f — рабочая частота генератора, а при работе в диапазоне частот — наименьшая частота этого диапазона, *кгц*.

Некоторые особенности в схеме на рис. 8,*б* имеет также выбор величины сопротивления R_1, при помощи которого обеспечивается требуемое напряжение на экранирующей сетке при ее питании от анодного источника. С одной стороны, величина этого сопротивления должна определяться из выражения

$$R_1 = \frac{U_{\text{ист}} - U_{\text{c2}}}{I_{\text{c2}}} 10^3, \tag{12}$$

где R_1 — искомое сопротивление, *ком*;

$U_{\text{ист}}$ — напряжение источника питания, *в*;

U_{c2} — напряжение на экранирующей сетке, соответствующее выбранной рабочей точке, *в*;

I_{c2} — постоянная составляющая тока экранирующей сетки, *ма*.

С другой стороны, сопротивление R_1 должно быть достаточно большим. Это следует из того, что для переменной составляющей оно оказывается включенным между экранирующей сеткой и катодом и поэтому несколько уменьшает создаваемое лампой абсолютное значение отрицательного сопротивления В связи с этим сопротивление R_1 выбирают из следующего расчета:

$$R_1 \geqslant (8 \div 10)\,|R_{(-)}|. \qquad (13)$$

Это соотношение должно выполняться и для схемы на рис. 8,*а*.

Требуемое смещение для защитной сетки можно получить, используя либо посторонний источник, либо напряжение автоматического смещения за счет анодного и экранного токов (рис. 8). При таком способе подачи смещения сопротивление в цепи катода лампы шунтируют конденсатором, емкость которого определяют по формуле

$$C_2 \geqslant \frac{2 \div 5}{f_{мин} R_2}\, 10^3, \qquad (14)$$

где C_2 — емкость конденсатора, *мкф*;

R_2 — сопротивление, *ом*;

$f_{мин}$ — наименьшая рабочая частота генератора, *кгц*.

Связь генератора с нагрузкой может быть осуществлена двумя способами. На нагрузку можно подать напряжение непосредственно с контура $L_к C_к$ (намотав, например, на катушку несколько витков провода или же через небольшую емкость). Однако при таком способе связи емкость нагрузки будет входить в той или иной степени в емкость контура. На высоких частотах, когда требуемая емкость контура становится небольшой, вносимая емкость со стороны нагрузки может составлять заметную часть полной емкости контура. А так как емкость нагрузки обычно непостоянна во времени, то стабильность частоты генерируемых колебаний может уменьшиться.

Во избежание этого нагрузку иногда связывают с анодной цепью генератора и тем самым исключают непосредственное взаимодействие между контуром и емкостью нагрузки. Для этой цели в анодную цепь лампы включается сопротивление (рис. 9,*а*), индуктивность или настроенный колебательный контур (рис. 9,*б*). В подобных схемах удается также осуществить дополнительное усиление генерируемых колебаний.

Следует, однако, иметь в виду, что введение второго контура усложняет схему, особенно если требуется диапазонный генератор. В случае включения в анодную цепь индуктивности может ухудшиться форма кривой напряжения генератора. Поэтому целесообразность использова-

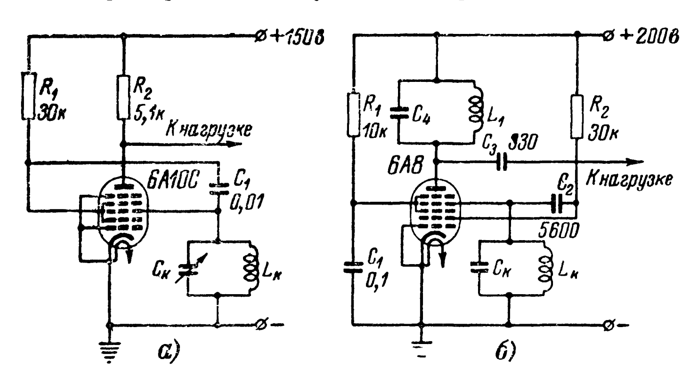


Рис 9 Схемы транзитронных генераторов на гептодах.

ния той или иной схемы включения нагрузки определяется для каждого конкретного случая.

Амплитуда, частота и форма генерируемых колебаний. Для надежного самовозбуждения транзитронного генератора параметры колебательного контура и режим лампы выбирают так, чтобы соблюдалось условие (10). Поэтому в течение какого-то периода времени после включения генератора энергия, поставляемая лампой в колебательный контур, превышает потери в нем. Следовательно, возникшие колебания нарастают по амплитуде и захватывают все больший участок падающей характеристики лампы.

В дальнейшем колебания захватывают, наконец, и области, близкие к верхнему и нижнему перегибам, а затем и сами перегибы. Следствием этого является то, что, с одной стороны, увеличиваются потери в контуре, которые пропорциональны квадрату амплитуды колебаний, что приводит к некоторому снижению резонансного сопротивления контура; с другой стороны, перегибы характеристики препятствуют дальнейшему возрастанию амплитуды колебаний. Кроме того, поскольку крутизна падающего участка при приближении к изгибам уменьшается (см. рис. 4 и 5), это влечет за собой увеличение абсолютного значения отрицательного сопротивления, создаваемого лампой, по сравнению с той величиной, которая имела место при ис-

пользовании средней линейной части характеристики лампы

Под действием этих факторов неравенство (10) обратится в равенство (7) и в схеме установится стационарная амплитуда колебаний Амплитуда установившихся колебаний зависит от величины резонансного сопротивления контура, абсолютной величины отрицательного сопротивления и протяженности падающего участка транзитронной характеристики Обычно она равна нескольким вольтам.

На форму кривой генерируемого напряжения оказывают влияние высшие гармонические составляющие, появление которых обусловливается нелинейностью рабочего участка характеристики лампы Эта нелинейность в большей или меньшей степени практически всегда имеет место Чем больше нелинейность используемого участка, тем значительней напряжение на контуре отличается от синусоидального Рациональным выбором емкости и индуктивности контура и режима работы генератора можно значительно ослабить и практически даже устранить искажения формы кривой генерируемого напряжения

Известно, что параллельный колебательный контур для колебаний с частотами, значительно превышающими резонансную, представляет чисто емкостное сопротивление Поэтому чем больше емкость контура $C_к$, тем меньше искажения, создающиеся высшими гармоническими составляющими Таким образом, от соотношения между индуктивностью и емкостью контура зависит искажение формы колебания за счет гармоник С этой точки зрения выгодно иметь относительно большие емкости в контуре

Хорошая форма колебаний получается при

$$\frac{L_к}{C_к} \leqslant 1 - 3, \qquad (15)$$

где $L_к$ — индуктивность контура, *мкгн*,

$C_к$ — емкость контура, *пф*

В случае, если амплитуда колебаний ограничивается небольшим прямолинейным участком характеристики, то отношение (15) может быть увеличено в 8—10 раз

Увеличение емкости контура приводит к уменьшению его резонансного сопротивления Выше указывалось, что для транзитронного генератора это в определенных пределах допустимо

Индуктивность и емкость колебательного контура определяются в зависимости от частоты колебаний или длины волны, которую желательно получить от генератора. Обычно один из элементов контура $L_к$ или $C_к$ бывает известен, а второй с достаточной для практических целей точностью находится по одной из следующих формул:

$$L_к C_к = 0{,}28\lambda^2; \qquad (16)$$

$$L_к C_к = \frac{253 \cdot 10^8}{f^2}, \qquad (17)$$

где $L_к$ — индуктивность контура, *мкгн*;
$C_к$ — емкость контура, *пф*;
λ — длина волны, *м*
f — частота, *кгц*.

Рассмотрим вопрос о рабочем диапазоне транзитронного генератора и условия, при которых на краях этого диапазона сохраняется устойчивая генерация без резких колебаний амплитуды при хорошей синусоидальной форме выходного напряжения.

Пренебрегая потерями, имеющими место в колебательном контуре, частоту генератора можно определить по формуле (17), которую удобнее представить в виде

$$f = \frac{159 \cdot 10^4}{\sqrt{L_к C_к}}.$$

В подавляющем большинстве случаев, встречающихся на практике, перестройка частоты производится изменением емкости контура. При наивысшей частоте емкость контура минимальна, и если соотношение $L_к/C_{к\,мин} \leqslant 1 \div 3$ не нарушается, то форма колебаний и стабильность частоты генератора не ухудшатся. На самой низкой частоте генерации емкость контура максимальна и условие (15) заведомо выполняется. Но при этом должно также соблюдаться и требование $Z_0 = L_к/C_{к\,макс}\, r > |R_{(-)}|$, так как иначе колебания могут сорваться. Эти два значения емкости при данной индуктивности контура и определяют частотный диапазон генератора.

Из рассмотрения принципов работы транзитронной схемы следует, что стабильность частоты транзитронного генератора должна быть выше стабильности обычного генератора с явной цепью обратной связи Причины этого за-

ключаются, во-первых, в отсутствии цепи обратной связи, имеющейся в обычных схемах генераторов и являющейся причиной определенной частотной нестабильности, во-вторых, в исключении дестабилизирующего действия паразитных и внутриламповых емкостей схемы путем увеличения емкости контура и, в-третьих, в малом влиянии на стабильность частоты высших гармонических составляющих за счет соответствующего выбора соотношения между индуктивностью и емкостью контура и режима работы лампы.

Разумеется, что высокая стабильность частоты в транзитронном генераторе (как и в обычном) может быть достигнута лишь в том случае, когда параметры его колебательного контура мало зависят от влияния внешних факторов (температуры, механических деформаций, нагрузки) и не изменяются в течение времени. В правильно сконструированном транзитронном генераторе стабильность частоты получается в 10—15 раз выше, чем у генератора с обратной связью, что хорошо подтверждается практикой.

Расчет режима транзитронного генератора по характеристикам $I_а$, $I_{с2}=\varphi(U_{с3})$. До сих пор мы рассматривали работу транзитронной схемы с точки зрения внесения в колебательный контур некоторого отрицательного сопротивления, создаваемого лампой, поставленной в транзитронный режим. Но можно рассмотреть работу транзитронного генератора и по-другому, проведя аналогию с обычным генератором на триоде, имеющим цепь явной обратной связи.

Как известно, для того чтобы обычный усилительный каскад превратился в генератор с самовозбуждением, необходимо часть его выходного напряжения подать снова на сетку лампы через цепь обратной связи. При этом нужно обеспечить необходимую для данного режима амплитуду колебаний на сетке и поворот фазы этих колебаний на 180° относительно фазы колебаний выходного напряжения.

На рис. 10,*а* показана схема усилительного каскада на пентоде, в котором нагрузка (настроенный колебательный контур) включена между экранирующей сеткой и катодом, а входной сигнал подается на защитную сетку. По аналогии с обычным триодным усилителем примем условно, что в нашей схеме экранирующая сетка выполняет роль анода, а защитная — управляющей сетки.

Особенностью такой схемы является то, что при вполне определенных значениях напряжений на электродах лампы фаза входного сигнала совпадает с фазой переменного напряжения на нагрузке. Действительно, если напряжение на

защитной сетке станет более отрицательным, то вследствие уменьшения анодного тока и возрастания тока экранирующей сетки напряжение на последней относительно катода также станет более отрицательным, т. е. фазы входного и выходного напряжений совпадают.

Если усиление каскада больше единицы, то для того чтобы превратить усилитель подобного типа в автогенератор, достаточно выходные зажимы усилителя связать

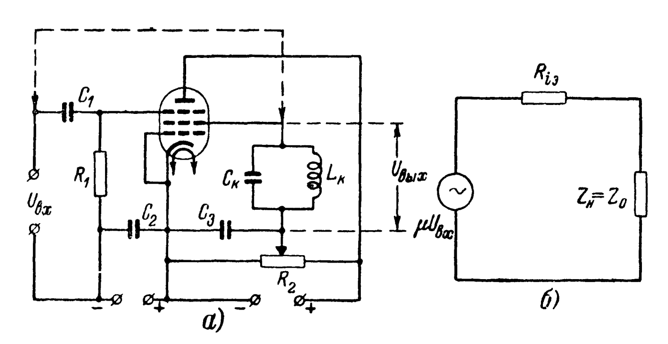


Рис. 10. Пентодный усилитель, в котором входной сигнал подается на защитную сетку, а нагрузка включена в цепь экранирующей сетки.

а — принципиальная схема; *б* — эквивалентная схема.

с входными, как это показано на рис. 10,*а* пунктиром. При этом необходимые для самовозбуждения фазовые соотношения будут выполнены, а при достаточно большой величине емкости конденсатора C_1 коэффициент обратной связи получится близким к единице. Отметим, что подобная схема генератора внешне не отличается от схемы на рис. 8,*а*.

Проведем простейший расчет этого генератора. Прежде всего найдем, какому условию должна удовлетворять величина резонансного сопротивления контура. Представим наш усилительный каскад по аналогии с обычным триодным усилителем в виде эквивалентной схемы, показанной на рис. 10,*б*, где приняты следующие обозначения: $\mu U_{вх}$ — источник напряжения (взамен лампы); μ — коэффициент усиления, показывающий, во сколько раз действие на величину экранного тока напряжения (1 *в*) на защитной сетке сильнее действия 1 *в* экранного напряжения; $R_{iэ}$ — внутреннее сопротивление лампы по экранирующей сетке; Z_0 — резонансное сопротивление колебательного контура $L_к C_к$; $U_{вх}$ и $U_{вых}$ — напряжения входного и выходного сигналов.

Из эквивалентной схемы напряжение на нагрузке может быть найдено как

$$U_{\text{вых}}=\frac{\mu U_{\text{вх}} Z_0}{R_{iэ}+Z_0}.$$

Но поскольку в генераторе экранирующая и защитная сетки соединены накоротко, то $U_{\text{вых}}=U_{\text{вх}}$. Следовательно,

$$\frac{\mu Z_0}{R_{iэ}+Z_0}=1.$$

Отсюда после преобразований находим:

$$Z_0=\frac{R_{iэ}}{\mu-1}. \tag{18}$$

Для определения требуемого резонансного сопротивления колебательного контура необходимо иметь семейство статических характеристик $I_{c2}=\varphi(U_{c3})$. Такие зависимости

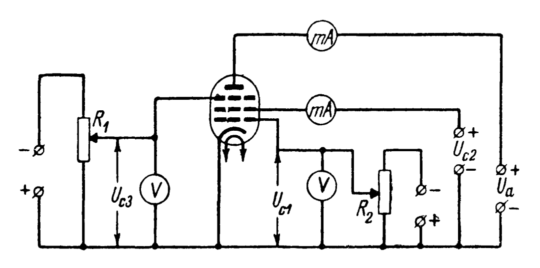


Рис. 11. Схема для снятия характеристик пентода.

для некоторых типов пентодов иногда приводятся в справочниках. Если же этих характеристик нет, то их можно снять экспериментально, использовав схему, показанную на рис. 11. Полученные при помощи нее характеристики для лампы 6Ж2П приведены на рис. 12.

Из рассмотрения этих характеристик следует, что ток экранирующей сетки I_{c2} возрастает, а анодный ток I_a падает, когда напряжение на защитной сетке U_{c3} становится более отрицательным. Такая зависимость получается вследствие того, что напряжение на защитной сетке управляет распределением тока между анодом и экранирующей сеткой. Из характеристик рис. 12 можно получить все необходимые данные для расчета режима генератора.

На одной из характеристик (рис. 12) выбрана точка O', где режим лампы почти совпадает с тем, который соответствует характеристикам на рис. 4 (точка O). Для точки O' имеем: $U_а=120$ *в*, $U_{c2}=70$ *в*, $U_{c3}=-3$ *в*, $I_{c2}=4{,}6$ *ма*. Вели-

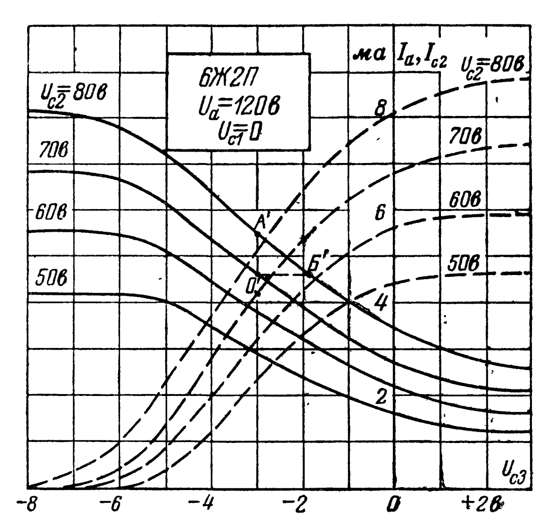


Рис. 12. Характеристики лампы 6Ж2П при различных напряжениях на экранирующей сетке.
Сплошные линии — ток экранирующей сетки, штриховые линии — анодный ток.

чины μ и $R_{iэ}$ определяются графически, как это показано на рис. 12 (здесь $O'A'=\Delta I_{c2}$, а $O'Б'=\Delta U_{c3}$):

$$\mu=\frac{\Delta U_{c2}}{\Delta U_{c3}}=\frac{10}{1,1}\approx 9,1;$$

$$R_{iэ}=\frac{\Delta U_{c2}}{\Delta I_{c2}}=\frac{10}{0,85}\approx 11,8 \text{ ком}.$$

После этого по формуле (18) находим:

$$Z_0'=\frac{11,8}{9,1-1}\approx 1,5 \text{ ком}.$$

Таким образом, результат практически совпадает с данными, полученными из характеристик на рис. 4.

Найденное значение Z_0 является минимальным, при котором еще возможно возникновение генерации. В практической схеме эта величина должна быть увеличена в 3—4 раза. Другие элементы схемы генератора определяются по формулам (11)—(17).

Влияние на режим генератора напряжений $U_а$, U_{c2} и U_{c1}. Весьма существенным для транзитронного генератора, как и для любого другого, является вопрос влияния на режим

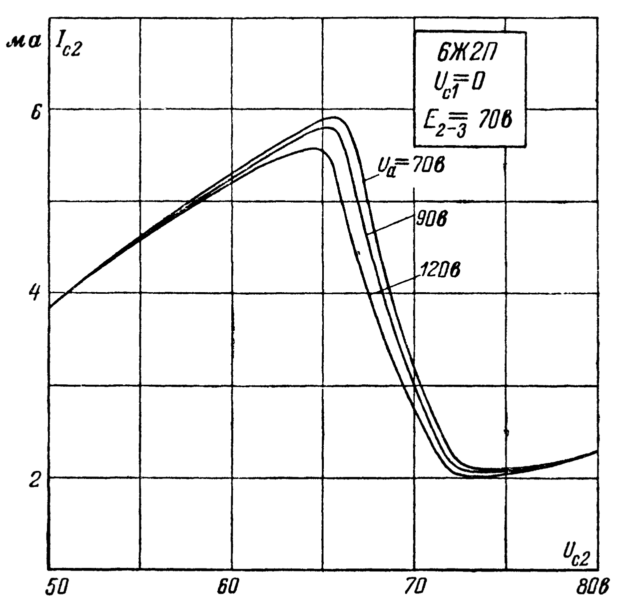


Рис. 13. Падающие характеристики лампы 6Ж2П при различных напряжениях на аноде.

его работы нестабильности напряжений питающих источников. Чем меньше сказываются колебания этих напряжений, тем устойчивее и надежнее работает генератор. Транзитронная схема в этом отношении оказывается предпочтительней перед другими схемами генераторов.

Рассмотрим влияние на режим генератора изменений анодного напряжения $U_а$. На рис. 13 показано семейство падающих характеристик для лампы 6Ж2П, полученное при трех различных значениях анодного напряжения. Из рассмотрения этих характеристик следует, что изменение анодного напряжения от 70 до 120 *в* весьма незначительно влияет как на наклон падающего участка характеристики, так

и на его протяженность. Стало быть, при колебаниях анодного напряжения, которые практически могут иметь место в процессе работы генератора, амплитуда и частота генерируемого напряжения не будут заметно меняться.

Отметим, что уменьшение в определенных пределах анодного напряжения (по сравнению с напряжением на экранирующей сетке лампы) может улучшить работу транзитронной схемы. Некоторые же типы ламп вообще могут быть использованы в подобном режиме только при условии, если $U_а < U_{с2}$.

Изменения экранного напряжения $U_{с2}$ более существенно сказываются на режиме работы транзитронного генератора. На рис. 12 показаны четыре кривые, полученные при разных напряжениях на экранирующей сетке. При уменьшении $U_{с2}$ (от 80 до 50 *в*) уменьшаются как наклон характеристик экранного тока, так и протяженность линейного участка. Это свидетельствует о том, что чем меньше экранное напряжение, тем большее (по абсолютной величине) отрицательное сопротивление создает лампа и тем меньше становится амплитуда колебаний генератора. При увеличении же экранного напряжения амплитуда колебаний возрастает.

Однако при нестабильностях напряжения на экранирующей сетке лампы (порядка 5—10%), которые могут иметь место при эксплуатации генератора, его режим практически не меняется. Особенно незначительное влияние оказывают нестабильности анодного и экранного напряжений при работе генератора с небольшими амплитудами колебаний, когда используется только часть линейного участка характеристики лампы.

Первая (управляющая) сетка лампы непосредственного участия в генерации не принимает, однако, подавая на нее небольшие отрицательные напряжения, можно весьма эффективно управлять амплитудой колебаний. Характер воздействия управляющей сетки на режим работы лампы, работающей в транзитронной схеме, аналогичен действию экранирующей сетки, что наглядно видно на рис. 14, где приведены характеристики лампы 6Ж2Б, снятые при различных смещениях на управляющей сетке $U_{с1}$ и постоянных напряжениях $U_а$ и $U_{с2}$. Слишком большое увеличение смещения $U_{с1}$ приводит к полному прекращению генерации.

Возможность управления амплитудой колебаний, создаваемых транзитронным генератором, путем изменения напряжения смещения на первой сетке лампы представляет

большое удобство при практическом использовании таких схем.

Транзитронные генераторы с элементами *RC*. Колебательный контур в транзитронном генераторе, как и в любом другом, целесообразно применять до тех пор (до такого частотного диапазона), пока размеры его катушек не становятся слишком большими. В диапазоне частот порядка нескольких сотен герц катушки становятся громоздкими, конструкция их усложняется, так как приходится применять стальные сердечники.

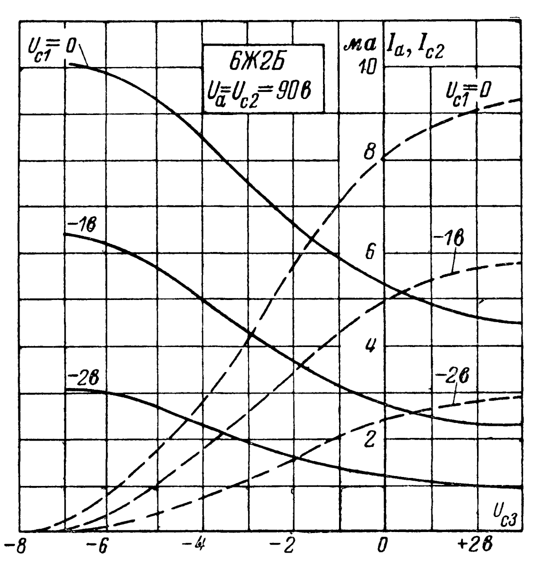


Рис 14 Характеристики лампы 6Ж2Б при различных напряжениях на управляющей сетке

Сплошные линии — ток экранирующей сетки, штриховые линии — анодный ток.

Теоретический анализ транзитронного генератора показывает, что его нормальный режим работы соответствует условию, когда на частоте генерации колебательный контур оказывается несколько расстроенным в сторону более низких частот. Таким образом, для токов генерируемой частоты колебательный контур представляет некоторую небольшую емкость.

Следовательно, можно ожидать, что если в транзитронном генераторе колебательный контур заменить эквива-

лентной емкостью, то в получившейся схеме могут возникнуть и поддерживаться колебания. В диапазоне высоких частот такой способ применить нельзя, так как при этом потребовалась бы очень маленькая емкость, меньшая, чем неустранимые и физически существующие емкости схемы (междуэлектродные и монтажа). Однако при переходе к звуковым частотам подобная схема становится реальной.

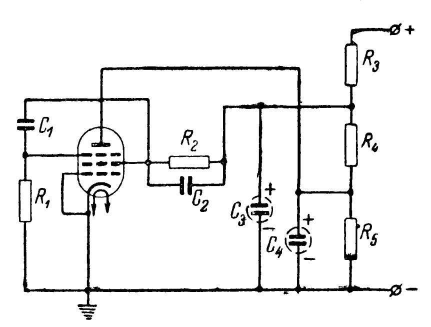


Рис 15. Схема RC транзитронного генератора.

Схема такого генератора показана на рис. 15. Здесь колебательный контур $L_к C_к$ заменен параллельно соединенными сопротивлением R_2 и конденсатором C_2. Они (по переменному напряжению) включены в промежуток экранирующая сетка — катод лампы.

Частота RC транзитронного генератора определяется по формуле

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R' C_2}}, \qquad (19)$$

где R' представляет собой сопротивление, эквивалентное трем параллельно соединенным элементам R_1, R_2 и $R_{iэ}$.

Если в формуле (19) сопротивления выразить в омах, а емкости — в фарадах, то частота F получится в герцах.

Условие самовозбуждения показанной на рис. 15 схемы может быть представлено как

$$\frac{1}{|R_{(-)}|} > \frac{C_2}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \qquad (20)$$

где $|R_{(-)}|$ — абсолютная величина отрицательного сопротивления, создаваемого лампой.

Сопротивление R_1 выбирается порядка 0,2—0,5 *Мом*, емкость конденсатора C_1 — по формуле (11), а сопротивление R_2 — порядка 20—50 *ком*. Окончательно эти величины подбираются при регулировке генератора. Частота колебаний в основном зависит от емкости конденсаторов C_1 и C_2; она устанавливается подбором емкости C_2. Следует иметь в виду, что увеличение емкости C_2 уменьшает,

а уменьшение этой емкости увеличивает амплитуду колебаний.

Недостатком рассматриваемой схемы является большая критичность режима в отношении величин C_1, C_2, R_1, R_2. При отклонении этих величин от оптимальных значений происходит изменение амплитуды колебаний, сопровождающееся искажениями их формы. Поэтому RC транзитронные генераторы низкочастотных колебаний не получили широкого распространения.

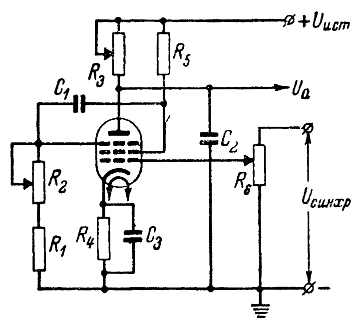


Рис. 16. Схема транзитронного генератора релаксационных колебаний.

Если уменьшать емкость C_2, то частота генерируемых колебаний будет становиться меньшей, а форма колебаний будет все больше отличаться от синусоидальной; при $C_2=0$ можно перейти от гармонических к релаксационным колебаниям. Транзитронные генераторы релаксационных колебаний находят довольно широкое применение в качестве генераторов импульсных напряжений пилообразной и прямоугольной формы. Одна из возможных схем генераторов такого рода показана на рис. 16.

Рассмотрим процессы, происходящие в подобных схемах. В импульсных генераторах, построенных на основе транзитронной схемы, возможно два состояния равновесия. Первое характеризуется отсутствием анодного тока и наличием относительно большого экранного тока; при этом напряжение на аноде близко к напряжению источника питания, а напряжение на экранирующей и защитной сетках понижено. При втором состоянии анодный ток относительно велик, а ток экранирующей сетки мал, т. е. напряжение на аноде понижено, а на экранирующей и защитной сетках оно близко к напряжению источника питания. В зависимости от величины емкости C_1 и режима лампы оба эти состояния могут быть устойчивыми или неустойчивыми.

На рис. 17 показана форма напряжений на аноде и экранирующей сетке лампы генератора, схема которого приведена на рис. 16. С некоторого момента времени t_1 лампа открывается по анодному току $I_а$. Вследствие пере-

распределения катодного тока лампы экранный ток I_{c2} резко уменьшается, напряжение на экранирующей сетке U_{c2} начинает возрастать, а конденсатор C_1 подзаряжается от напряжения $U_{ист}$ через сопротивления R_1, R_2 и R_5.

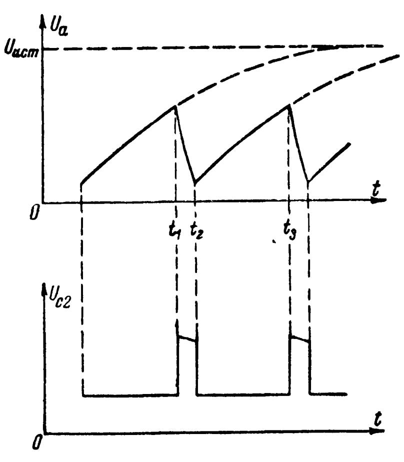


Рис. 17. Форма напряжений на аноде и экранирующей сетке лампы в схеме генератора, приведенной на рис. 16.

Падение напряжения на сопротивлениях R_1 и R_2 за счет зарядного тока способствует более быстрому нарастанию анодного тока I_a, так как на защитной сетке лампы появляется положительное напряжение. Лампа лавинообразно переходит в состояние, при котором экранный ток практически отсутствует, а анодный ток велик (промежуток времени t_1—t_2). При этом конденсатор C_2 разряжается через анодную цепь лампы, и напряжение на аноде лампы U_a падает.

Однако такое состояние лампы неустойчиво, поскольку по мере подзаряда конденсатора C_1 зарядный ток уменьшается, а следовательно, напряжение на защитной сетке лампы становится менее положительным. Напряжение на экранирующей сетке лампы U_{c2} велико, а ее анодное напряжение U_a мало. Поэтому в некоторый момент времени t_2 появляется ток I_{c2}. Конденсатор C_1 начинает разряжаться через промежуток экранирующая сетка — катод лампы и сопротивления R_1 и R_2, создавая тем самым отрицательное смещение на защитной сетке, что способствует быстрому запиранию лампы по анодному току и резкому возрастанию экранного тока I_{c2}. Лампа снова лавинообразно переходит во второе состояние, при котором анодный ток I_a отсутствует, а экранный ток I_{c2} становится максимальным (промежуток времени t_2—t_3). Конденсатор C_2 заряжается от источника $U_{ист}$ через сопротивление R_3, и анодное напряжение U_a возрастает.

Такое состояние лампы также неустойчиво. Продолжается оно до тех пор, пока спадание разрядного тока конденсатора C_1 не приведет к такому уменьшению отрицатель-

ного смещения на защитной сетке (момент времени t_3), при котором вновь появляется анодный ток. После этого процессы в схеме повторяются.

Напряжение на аноде лампы имеет пилообразную форму, наклон пилообразной кривой регулируется сопротивлением R_3. Форма напряжения на экранирующей сетке лампы — прямоугольные импульсы. При отсутствии синхронизации частота повторения регулируется сопротивлением R_2.

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНЗИТРОННЫХ СХЕМ

Широкие возможности, открывающиеся перед радиолюбителями в области применения транзитронных генераторов, вытекают из достоинств подобных схем, которые вкратце сводятся к следующему: 1) простота конструкции и обращения с генератором; 2) удобство перехода с одного частотного диапазона на другой; 3) легкость регулировки выходного напряжения; 4) высокая стабильность генерируемой частоты; 5) хорошая форма кривой выходного напряжения; 6) надежность в работе.

В радиолюбительской практике транзитронный генератор целесообразно применять как источник маломощных колебаний в различных измерительных устройствах, а также в качестве гетеродина супергетеродинных приемников. В этих случаях основной недостаток таких генераторов, а именно—низкий к. п. д., который составляет примерно 10%, несуществен.

На основе транзитронной схемы легко построить самодельный сигнал-генератор, который может оказать радиолюбителю большую помощь при ремонте, настройке и регулировке приемников, усилителей промежуточной частоты, а также при проверке низкочастотных усилителей.

Без больших трудностей можно сконструировать генератор, устойчиво работающий от звуковых частот до 30—40 *Мгц*. Переход с одного диапазона на другой производится простой сменой катушки, а при необходимости увеличением или уменьшением емкости контура. Как правило, никакой регулировки режима лампы при этом не требуется.

Для получения устойчивой генерации на частотах выше 10—20 *Мгц* особое внимание необходимо уделять качеству монтажа, выполнять его по возможности более короткими

проводами и производить заземление всей генераторной схемы в одной точке. Следует также иметь в виду, что неправильное размещение деталей контура может ухудшить постоянство генерируемой частоты. В частности, катушка и конденсатор контура должны быть удалены от греющихся деталей (лампы и ламповой панельки).

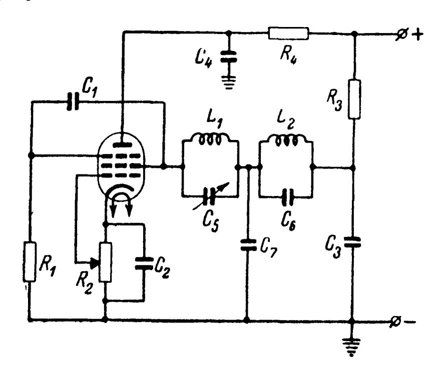


Рис. 18. Схема транзитронного генератора с двумя колебательными контурами.

Модуляцию высокочастотных колебаний сигнал-генератора можно осуществить от отдельного низкочастотного источника колебаний, подавая его напряжение на управляющую сетку лампы генератора. Низкочастотный генератор может быть собран по транзитронной схеме. В этом случае оба генератора можно выполнить на одной лампе, как это показано в схеме на рис. 18. Контуры низкой и высокой частоты включены последовательно в промежуток экранирующая сетка — катод лампы. Если для обоих контуров выполняется условие (8), то в них возникают колебания, при этом высокочастотный сигнал модулируется низкочастотным. Шунтируя низкочастотный контур L_2C_6, можно в некоторых пределах изменять глубину модуляции. Конденсатор C_7 включен для развязки между контурами. Он должен иметь такую емкость, чтобы, с одной стороны, мог обеспечить наименьшее сопротивление для токов высокой частоты, а с другой, составляя вместе с конденсатором C_6 емкость низкочастотного контура, обеспечивал требуемую частоту модуляции.

Весьма существенным для самодельного сигнал-генератора, в котором используется транзитронная схема, является то обстоятельство, что для регулировки его выходного напряжения не требуется специального аттенюатора. Хорошая регулировка может быть осуществлена изменением смещения на первой сетке лампы. В схеме на рис. 18 это достигается при помощи потенциометра R_2.

Такой способ регулирования выходного напряжения имеет большое преимущество перед обычными способами.

Дело в том, что при регулировании напряжения аттенюатором на выходе прибора даже при хорошей экранировке задающего генератора имеет место некоторое «пролезание» высокочастотного сигнала, особенно неприятное при небольших напряжениях, снимаемых с аттенюатора. Это объясняется тем, что задающий генератор все время работает с постоянной и относительно большой амплитудой. При регулировке же изменением смещения на сетке лампы одновременно уменьшается и величина паразитного излучения, так как уменьшается амплитуда колебаний задающего генератора. Поэтому сигнал-генератор, выполненный по транзитронной схеме, не требует столь тщательной экранировки.

Управляющая сетка лампы, работающей в транзитронной схеме, может быть использована для самых разнообразных целей (подачи модулирующего сигнала, синхронизации, регулировки выходного напряжения генератора). На рис. 19 показана схема, при помощи которой возможно автоматическое поддержание выходного напряжения генератора на определенном уровне. Для этой цели используется напряжение смещения на первой сетке, получаемое за счет выпрямления напряжения генератора диодом $Л_2$. Падение напряжения на сопротивлении R_2 пропорционально амплитуде генерируемых колебаний. Если в силу каких-либо причин произойдет, например, увеличение амплитуды колебаний, то возрастет и напряжение смещения на первой сетке лампы $Л_1$, что приведет к уменьшению амплитуды колебаний до первоначального значения.

Такая схема позволяет стабилизировать амплитуду колебаний без захода в область загибов ламповой характеристики и оказывается очень удобной при больших колебаниях сопротивления нагрузки. При этом появляется возможность использовать только небольшой наиболее линейный участок характеристики, что обеспечивает хорошую синусоидальную форму колебаний и улучшает стабильность частоты.

Схема автоматической регулировки амплитуды, показанная на рис. 19, работает с задержкой Ее действие начинает проявляться только тогда, когда колебания достигают некоторой величины, определяемой постоянным положительным напряжением, подаваемым на катод диода. Для создания напряжения задержки может быть использовано напряжение общего источника питания, которое при помощи делителя R_4R_5 понижается до требуемой вели-

чины. В качестве выпрямляющего элемента могут быть применены как ламповые, так и полупроводниковые диоды.

Транзитронные генераторы релаксационных колебаний находят применение в качестве генераторов развертки для электронно-лучевых трубок, генераторов прямоугольных импульсов и т. п. На рис. 20 приведена схема для получения напряжения кадровой развертки в телеви-

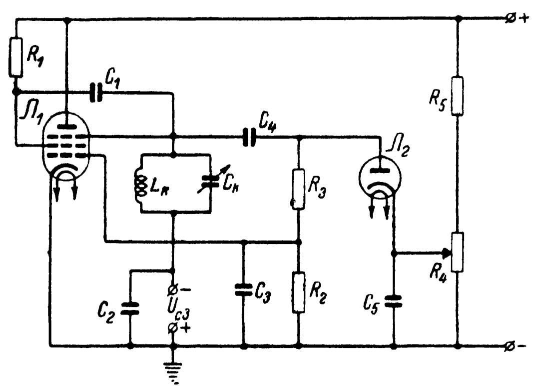


Рис. 19. Схема автоматической регулировки амплитуды колебаний в транзитронном генераторе.

зоре. Линейное пилообразное напряжение с частотой кадровой развертки снимается с анода лампы через конденсатор C_3. Генератор хорошо синхронизируется небольшими импульсами, подаваемыми на первую сетку лампы. Аналогичная схема может быть использована и в генераторе строчной развертки телевизора.

Весьма существенным достоинством транзитронного генератора является простота его наладки после монтажа. Действительно, отсутствие цепи обратной связи исключает все работы, связанные с подбором режима генератора при помощи этой цепи. Фактически регулировка транзитронного генератора сводится к установке постоянных напряжений на электродах лампы согласно расчетным значениям.

Обычно генератор при правильном монтаже начинает работать при первом же включении. После того как установлены номинальные значения постоянных напряжений на электродах ламп и получена устойчивая генерация, производится подстройка контура на нужный номинал ча-

стоты. Если генератор работает в диапазоне частот, то необходимо проверить, насколько устойчива его работа на краях диапазона.

Градуировка генератора может быть осуществлена по волномеру или с помощью радиовещательного приемника. Контроль формы выходного напряжения удобнее всего производить по осциллографу. При наличии искажений необходимо подбирать напряжение смещения на третьей сетке лампы до тех пор, пока искажения не станут минимальными. Их можно уменьшить и при подаче небольшого отрицательного напряжения смещения на управляющую сетку лампы. Следует иметь в виду, что неискаженная форма колебаний транзитронного генератора является признаком высокой стабильности генерируемой частоты.

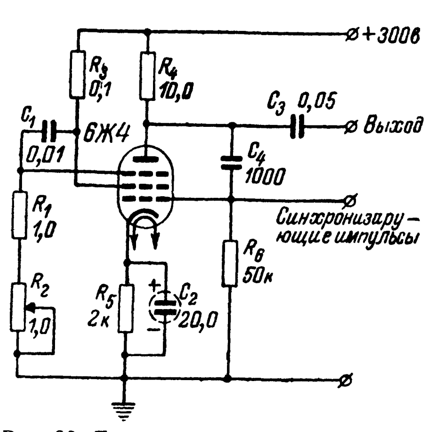


Рис. 20. Транзитронная схема генератора кадровой развертки.

Лампу для транзитронного генератора целесообразно выбирать с таким расчетом, чтобы обеспечивалось получение наименьшего по абсолютной величине отрицательного сопротивления. В этом случае генератор может работать в наибольшем диапазоне частот и при относительно невысоком качестве контура.

В транзитронных схемах обычно применяются пентоды и гептоды, причем, разумеется, могут быть использованы только те типы пентодов, у которых защитная сетка внутри баллона лампы не соединяется с катодом

Цена 9 коп.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Вышли из печати следующие выпуски

В. Ф. Самойлов, Синхронизация генераторов телеви развертки, 96 стр. тираж 65 000 экз., ц. 19 коп., вып. 395.

А. Я. Глиберман и А. К. Зайцева, Кремниевые со батареи, 72 стр., тираж 35 000 экз., ц. 15 коп., вып. 396.

Е. М. Мартынов, Бесконтактные переключающие уст изд. 2-е, дополненное. 176 стр., тираж 50 000 экз., ц. 38 коп., в

М. А. Ганзбург, Улучшение звучания приемника, 144 стр., тираж 100 000 экз. (1-й завод 10 000 экз.), ц. вып. 398.

В. К. Зотов, Радиолюбительские карманные приемники зисторах, 48 стр., тираж 100 000 экз., ц. 10 коп., вып. 399.

Справочник начинающего радиолюбителя под общей ре Р. М. Малинина, 623 стр., тираж 100 000 экз., (1-й завод 50 0 ц. 2 р. 05 к., вып. 400

А. Г. Дольник, Громкоговорители, изд. 3-е, переработ. и 88 стр., тираж 55 000 экз.. (1-й завод 10 000 экз.), ц. 20 к., в

С. В. Литвинов, Радиовещательная аппаратура на 72 стр., тираж 42 000 экз., ц. 16 коп., вып. 402.

Л. В. Федоров, Телевизионная аппаратура на ВДНХ, тираж 50 000 экз., ц. 17 коп., вып. 403.

Я. М. Сорин, Надежность радиоэлектронной аппаратуры, тираж 46 000 экз., 16 коп., вып. 406.

Л. Д. Фельдман, Как работает телевизор, 168 стр., 100 (1-й завод 10 000 экз.), ц. 28 коп., вып. 405.

Г. А. Васильев, Запись звука на целлулоидных дисках, тираж 40 000 экз., ц. 18 коп., вып. 411.

Печатаются

М. М. Румянцев, Любительский карманный приемник «

В. А. Батраков и В. И. Богатырев, Электронные ц вычислительные машины для решения информационно лог задач

Госэнергоиздат заказов на книги не принимает и книг н лает. Книги, выходящие массовым тиражом, высылают нало платежом без задатка отделения «Книга—почтой».

Отделения «Книга—почтой» имеются во всех республи краевых и областных центрах СССР.

Заказ следует адресовать так: название республиканског вого или областного центра, книготорга, отделению «Книга—

Рекомендуем заказывать литературу только на последние текущего года. Книги Массовой радиобиблиотеки расходятся быстро и поэтому выпуски прошлых лет давно уже все распро